

# EL ASCENSO A UNA ALTURA MODERADA MEJORA LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE FUERZA

## ASCENT TO MODERATE ALTITUDE IMPROVES FORCE PRODUCTION

### RESUMEN

El objeto de este trabajo es analizar el efecto del ascenso súbito a una altura moderada sobre la mecánica muscular en distintos niveles de sobrecarga. Para ello, 5 varones deportistas, participaron en este estudio. Utilizando el ejercicio de sentadilla a 90° con barra libre, los participantes ejecutaron una curva de fuerza-velocidad, a partir de la cual se determinó la potencia máxima con un dinamómetro electrónico. En una jornada diferente se realizó una sesión de entrenamiento de fuerza con el método de 10x10, con el mismo ejercicio y con la carga asociada a la potencia máxima. Ambos test se ejecutaron en condiciones de normoxia (N) (690m) y de hipoxia (H) súbita moderada (2320m). La potencia desarrollada, la velocidad de desplazamiento de la sobrecarga y la percepción de esfuerzo diferenciada fueron registradas. La potencia máxima alcanzada y la carga a la que se obtuvo fueron significativamente superiores en H que en N ( $916,64 \pm 146,14$  vs  $823,85 \pm 118,38$  W y  $110,00 \pm 12,24$  vs  $104,00 \pm 11,40$  Kg respectivamente) ( $p < 0,05$ ). La sesión de fuerza no mostró un efecto significativo de la hipoxia en las variables analizadas, a excepción de la percepción de esfuerzo local, la cual se mostró significativamente reducida en altitud ( $12,98 \pm 0,44$  vs  $11,54 \pm 0,46$  para N e H respectivamente) ( $p < 0,05$ ). Por tanto, sobre la base de los resultados obtenidos y, siendo conscientes de las limitaciones ocasionadas por el tamaño de la muestra empleada, podemos concluir que la exposición a una altura moderada parece mejorar la potencia máxima y la carga a la que se localiza con respecto a la generada a nivel del mar. Tanto la hipoxia, como los cambios en la densidad del aire generados con el ascenso, podrían favorecer el reclutamiento selectivo de fibras de perfil morfo-funcional anaeróbico en acciones musculares de corta duración, justificando éste resultado. La fatiga generada por la acumulación de repeticiones en la sesión podría enmascarar el efecto "facilitador" de la altura en la aplicación de fuerza a gran velocidad, pudiendo ser necesario en tales casos, acortar el volumen de las series.

**Palabras clave:** Fuerza. Entrenamiento. Altitud. Potencia. Esfuerzo.

### CORRESPONDENCIA:

Ignacio Chiroso Ríos. Dpto. Educación Física y Deportiva Facultad de CC de la Actividad Física y el Deporte. Universidad de Granada Crta Alfacar s/n, 18011 Granada. E-mail: ichiroso@ugr.es

**Aceptado:** 05-09-2005 / Original nº 509

### SUMMARY

The aim of this study is to analyze the effect of acute ascent to moderate altitude on muscular mechanisms using different levels of resistance. Five healthy athletes participated in this study. Using back squat 90° flexion with free weights, participants executed a force-velocity curve to determine maximum power. On a different day a strength workout (10x10) was performed with the same exercise using a maximum power load. Both tests were carried out in normoxia (690m) as well as in hypoxia (2320m). Power, speed and the differentiated Ratings of Perceived Exertion (RPE) were recorded. Maximum power and the maximum power load, were significantly higher in hypoxia than in normoxia ( $916.64 \pm 146.14$  vs  $823.85 \pm 118.38$  W and  $110.00 \pm 12.24$  vs  $104.00 \pm 11.40$  Kg respectively) ( $p < 0.05$ ). The variables analyzed in the strength workout didn't show any significant difference between normoxia and hypoxia, with the exception of the local RPE which was reduced in hypoxic conditions ( $12.98 \pm 0.44$  vs  $11.54 \pm 0.46$ ) ( $p < 0.05$ ). Therefore, based on these results, and taking into consideration the limits of the sample size, we can conclude that exposure to moderate altitude seems to improve maximum power and the maximum power load with respect to sea level. Hypoxia, as well as the changes in air density with ascent to a higher altitude, favour the selective recruitment of anaerobic morfo-functional fibers in short muscular action, justifying this result. The fatigue generated after repetitions in the workout could mask the "facilitator" effect of altitude in the application of strength in high speed movements. In these cases it could be necessary to reduce the number of sets.

**Key words:** Strength. Training. Altitude. Power. Exertion.

**Ignacio Chiroso Ríos<sup>1</sup>**

**Belén Feriche Fernández Castanys<sup>1</sup>**

**Manuel Martínez Marín<sup>1</sup>**

**Carmen Calderón Soto<sup>2</sup>**

**Romana Braga<sup>3</sup>**

**Paulino Padial Puche<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Depto. de Educación Física y Deportiva Facultad de CC de la Actividad Física y el Deporte Universidad de Granada

<sup>2</sup>Servicios Médicos del Centro de Alto Rendimiento de Sierra Nevada (CSD)

<sup>3</sup>Depto. Desporto Cífo.

Universidade de Tras-Os-Montes e Alto Douro. U.T.A.D. Vila Real Portugal

## INTRODUCCIÓN

Cada vez más, la rutina diaria de entrenamiento en deportistas de alto nivel adquiere unos niveles de organización complejos, y los volúmenes e intensidades de las cargas alcanzan límites difíciles de superar. En estas condiciones, el entrenamiento en altitud se presenta como una alternativa a los sistemas más tradicionales, en busca de un incremento y/o una adaptación más específica en el estímulo de entrenamiento.

El tipo de ejercicio que comúnmente ha sido analizado en condiciones de hipoxia ha sido la carrera o el pedaleo, siendo escasos los dedicados al entrenamiento específico de fuerza. Además, el beneficio tradicionalmente buscado con el entrenamiento en altura ha sido la mejora de los parámetros relacionados con la resistencia aeróbica<sup>1</sup>. El vacío documental existente puede provocar que los deportistas, cuando ascienden a entrenar, mantengan intactas sus rutinas de musculación o que, en el peor de los casos, las ajusten a las orientaciones generales propuestas para otras capacidades. Es probable que si se planificaran los entrenamientos de fuerza en altura teniendo en consideración principios específicos de organización por la cota en la que se desarrollan, el deportista estaría más cerca de beneficiarse del efecto del entrenamiento ejecutado.

Se desconoce con exactitud el efecto de entrenamiento que genera el trabajo con pesas en altura sobre el músculo. Es conocido que el desplazamiento de una sobrecarga moderada restringe parcialmente la irrigación del músculo dificultándose el aporte de oxígeno<sup>2</sup>. Bajo estas condiciones, el uso de la ruta oxidativa en la obtención de ATP durante el trabajo muscular continuado estaría seriamente comprometida. La restricción circulatoria causa hipoxia y acidifica el medio muscular, induciendo un reclutamiento adicional de unidades motrices y, por ende, un mayor estímulo de hipertrofia<sup>3</sup>. En esta misma línea, ha sido constatado que tras el ascenso en altura, la respiración de un aire empobrecido en oxígeno limita el empleo de una ruta metabólica aeróbica durante el ejercicio. Bajo

este contexto, la hipoxia tisular alcanzada se muestra más severa en altitud que a nivel del mar para un mismo esfuerzo<sup>1</sup>, lo que podría promover una mayor activación de unidades motrices de tipo anaeróbico o de Tipo II. Por otro lado, es bien conocido que modalidades deportivas de velocidad corta, salto o lanzamiento están favorecidas cuando se practican en altitud a consecuencia de la reducción en la densidad del aire<sup>4</sup>. Arzac *et al* (2002)<sup>5</sup>, predicen un incremento de hasta un 2% en el rendimiento durante los 100m lisos a 2000m, y de un 4% a los 4000m por esta causa. Basset *et al* (1999)<sup>6</sup> proponen los 2500m como la altura ideal para la consecución del record de la hora en ciclismo de velocidad. Por tanto, el desplazamiento a gran velocidad de una sobrecarga durante el trabajo de musculación en altitud podría verse beneficiado, tanto por el reclutamiento selectivo de fibras rápidas como por la reducción de las resistencias aerodinámicas, permitiendo mejorar la velocidad y potencia desarrolladas con respecto a las que podrían producirse a nivel del mar.

Los escasos estudios que han analizado el resultado del entrenamiento de fuerza en altura sólo lo han hecho a gran altitud, por encima de los 4000m. Con diferentes fundamentaciones, la mayoría de estos estudios manifiestan el resultado generalizado de una pérdida de masa magra de hasta un 20% por efecto de la gran altura<sup>7-9</sup>. Igualmente, el efecto de la exposición a una altitud severa puede reflejarse sobre el sistema nervioso central reduciendo el tiempo de mantenimiento de una contracción isométrica al 80% de la CMV y/o alterando los patrones de reclutamiento del registro electromiográfico (EMG)<sup>10</sup>. Sin embargo, existe un vacío documental de estudios llevados a cabo en altura moderada (1500-3000m) que analicen este aspecto. El abordarlo a esta altura es importante, pues es la cota a la que normalmente ascienden los deportistas para entrenar, sin que se asocie con tanta frecuencia a los efectos negativos de la gran altura (>3000m)<sup>1</sup>.

Por tanto, el objetivo básico de este estudio es el de analizar el efecto de la exposición súbita a

una altura moderada sobre la mecánica muscular desarrollada en diferentes niveles de sobrecarga.

## MATERIAL Y MÉTODO

Con objeto de comprobar nuestro objetivo, llevamos a cabo un estudio piloto con un grupo de 5 voluntarios varones (edad,  $21,3 \pm 1,6$  años; altura,  $178,5 \pm 6,5$  cm; peso,  $76,9 \pm 4,6$  kg) físicamente activos. Los integrantes de la muestra eran estudiantes de Educación Física y estaban familiarizados con el trabajo con pesas. Todos los participantes fueron informados por escrito de los objetivos del estudio y se comprometieron a no realizar ningún ejercicio sistematizado ni extenuante al margen del contenido de este estudio. El protocolo de trabajo se desarrolló en normoxia (N), en el Laboratorio de Valoración de la Condición Física de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la Universidad de Granada (690m sobre el nivel del mar), y en hipoxia (H), en el CAR de Sierra Nevada (Consejo Superior de Deportes, a 2320m sobre el nivel del mar) en semanas diferentes. Entre las medidas efectuadas en N e H transcurrieron un mínimo de 7 días y un máximo de 14. Todos los test se realizaron en horario de mañana.

En cada una de las condiciones establecidas (N e H), y con 48h de diferencia entre cada medida, los sujetos ejecutaron dos test:

$T_1$ - *Curva de Fuerza-Velocidad (C f-v)*- para la determinación de la carga vinculada a la potencia máxima (Pomax). La curva se llevó a cabo mediante un test progresivo de cargas en el ejercicio de sentadilla con barra hasta 90° de flexión de rodilla. Con una sobrecarga inicial de 20 Kg, la carga incrementó en 20kg/serie, en velocidades  $< 1\text{m/s}$ , y finalmente en 10kg/serie con velocidades  $> 1\text{m/s}$ . El número de repeticiones completadas en cada serie fue de 2 a 4. El tiempo de recuperación entre series fue de 3 minutos para los incrementos de 20 Kg y de 5 min para los de 10 Kg. El cálculo de las variables cinemáticas (velocidad y potencia se realizó

mediante un Dinamómetro Electrónico-Isocontrol-Versión 3.6 (JLML I+D, Madrid, España). El valor más elevado en cada serie fue tomado como el representativo de la sobrecarga correspondiente.

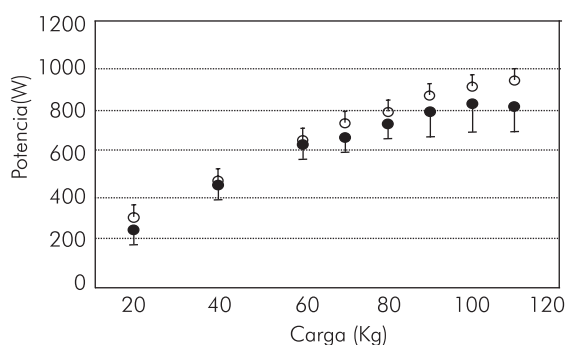
$T_2$ - *Sesión de entrenamiento de fuerza (10x10)*- La rutina de musculación estudiada correspondió al método clásico de 10 series x 10 repeticiones, en el mismo ejercicio de sentadilla con barra a 90° de flexión. La sobrecarga empleada correspondió a la desplazada en la Pomax durante la C f-v en condiciones de N. El tiempo de recuperación entre series fue de 3 min. La velocidad de ejecución establecida fue la máxima. Mediante el uso del dinamómetro electrónico, se registraron los cambios de velocidad y aceleraciones experimentadas por la barra en cada repetición y series de trabajo, así como las secuencias temporales en las que se llevan a cabo. El promedio de las velocidades y potencias generadas durante cada serie se consideró como el representativo de la misma. En los 30 sg siguientes a la finalización de cada serie los sujetos fueron preguntados sobre su percepción subjetiva de esfuerzo (RPE) en sus vertientes local, central y total. Para ello, previamente al inicio de la sesión, se leyeron unas instrucciones estandarizadas que instrúan al sujeto en el uso diferenciado de la RPE<sup>11</sup>. Con el valor de percepción de esfuerzo local (RPEL), los sujetos reflejaban la sensación procedente de músculos y articulaciones; con el central (RPEC), las sensaciones procedentes del corazón y pulmones; y con el total (RPET) integraban todas las sensaciones en un solo valor.

Todos los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado previo a la ejecución de los test, consistente en 10 minutos de movilidad articular y estiramientos, seguidos de 3 series de 5 repeticiones (sin carga, con 20 y con 40 Kg respectivamente) y 3 min de recuperación entre ellas. La última serie de calentamiento se realizó a máxima velocidad. El control de la angulación de la rodilla se llevó a cabo a través de la colocación de una rodillera ultraligera de aluminio Legend con un tope de flexión en fijado a 90 grados, que indicaba al sujeto la

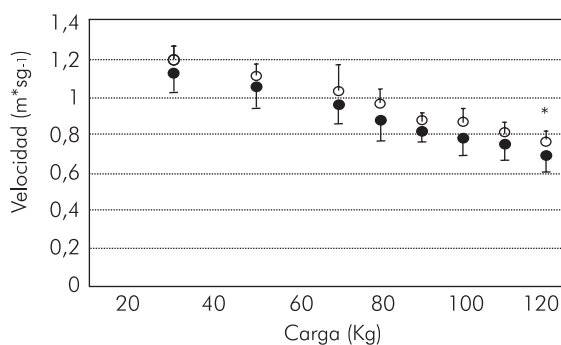
llegada a la angulación apropiada. La distancia recorrida por la barra se controló mediante el software del dinamómetro electrónico.

Los resultados son expresados como media y desviación estándar (SD). El efecto general de la altura y el análisis comparativo por pares sobre las variables analizadas en la C f-v y en el 10x10 se llevó a cabo mediante el Análisis de la Varianza con medidas repetidas con dos factores intra-sujeto en el caso de la sesión de fuerza (series y altura). Test de ajuste utilizado fue el de Bonferroni. La comparación entre los factores fue llevada a cabo con el test de Greenhouse-Geisser para los grados de libertad si el análisis de Mauchly de Esfericidad era significativo. Se mantuvo en todo momento un intervalo de confianza al 95%.

**FIGURA 1.**  
Efecto de la exposición súbita a una altitud moderada sobre la potencia registrada durante el test progresivo de cargas en el ejercicio de sentadilla 90°. Normoxia (símbolos cerrados); Hipoxia (símbolos abiertos) \*Efecto de la altura p<0.05. Curva truncada a 110 Kg



**FIGURA 2.**  
Efecto de la exposición súbita a una altitud moderada sobre la velocidad desarrollada durante el test progresivo de cargas en el ejercicio de sentadilla 90°. Normoxia (símbolos cerrados); Hipoxia (símbolos abiertos) \*Efecto de la altura p<0.05. Curva truncada a 110 Kg



**TABLA 1.**  
Análisis comparativo de la potencia máxima (W) y velocidad (m\*s<sup>-1</sup>) y sobrecargas (Kg) asociadas durante la Curva f-v en condiciones de Normoxia e Hipoxia súbita moderada

	Potencia (W)	Velocidad (m*s <sup>-1</sup> )	Sobrecarga (Kg)
Normoxia	823,85 ± 118,38	0,77 ± 0,11	104,00 ± 11,40
Hipoxia	916,64 ± 146,14*	0,62 ± 0,30	110,00 ± 12,24*

\*Efecto de la altura p<0.05

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que las potencias y velocidades desarrolladas durante la C f-v son similares en N e H (Figuras 1 y 2). La potencia muestra una tendencia a incrementar en H a partir de los 80 Kg de carga, que sólo llega a mostrar significación estadística en 110 Kg (p<0.05). La velocidad muestra un claro descenso a medida que incrementa la carga desplazada, siendo este descenso menos significativo en H que en N al final de la curva (p<0.05).

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos en los valores máximos alcanzados durante la C f-v. Los resultados muestran un incremento de la Pomax y de la sobrecarga asociada en H con respecto a N (p<0.05).

La carga media desplazada en la sesión de fuerza (10x10) fue de 104,00±11,40 kg, tanto en N como en H. El comportamiento de la potencia y de la velocidad durante la sesión de fuerza se muestra en las Figuras 3 y 4 respectivamente. El análisis general, asumida la esfericidad, no muestra un efecto de la altura sobre ninguna de estas dos variables.

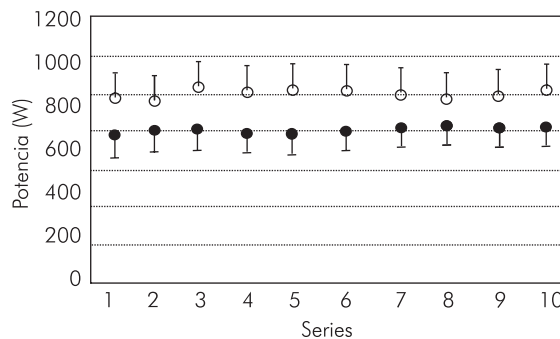
El análisis comparativo de las velocidades y potencias desarrolladas durante el 10x10 y la carga correspondiente en la Cf-v en cada condición de estudio se muestra en la Tabla 2. No hemos observado efecto significativo de la altura en los parámetros analizados. La velocidad media a la que se desplaza la barra durante el 10x10 se mostró significativamente inferior que la desarrollada en la C f-v para la misma carga sólo en H p<0.05).

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en el análisis del comportamiento de la RPE diferenciada durante el 10x10 en N e H. Tanto la percepción local (RPEL), central (RPEC), como la total (RPET), mostraron un comportamiento similar a lo largo de las series, con una tendencia al descenso en H. Esta tendencia sólo llegó a mostrarse significativa en la RPEL, con una reducción de un 12,36% (p<0.05) en H con respecto a N.

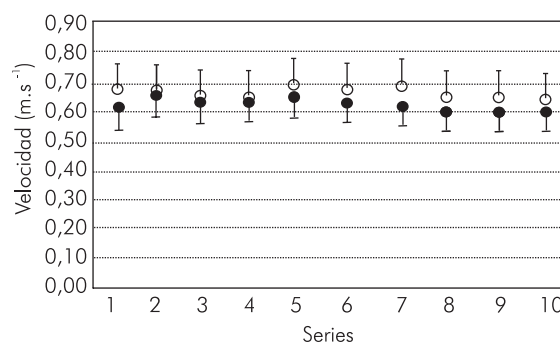
## DISCUSIÓN

El principal resultado obtenido en este estudio es la mejora de la óptima relación fuerza-velocidad desarrollada durante un ejercicio de sentadilla en H con respecto a la producida en N. Sin embargo, mientras que la potencia desarrollada durante la C f-v tiende a mejorar más en H que en N para una misma sobrecarga a medida que incrementa la resistencia a vencer (Figura 1), hemos fallado a la hora de probar este comportamiento durante la sesión de fuerza (Figura 3).

El método empleado en la sesión de fuerza analizada (10x10), se encuentra entre los más utilizados para la mejora de los factores morfológicos del músculo. Estos métodos, en general se caracterizan por el desplazamiento, a baja velocidad, de cargas que oscilan entre el 60 y el 80% de 1 repetición máxima (RM), entre 8 y 12 veces por serie<sup>12,13</sup>. En nuestro estudio, la carga empleada durante el 10x10 ha sido la correspondiente a la desplazada en la Pomax. Otros trabajos realizados sobre el tema, ubican la carga a la que se alcanza la Pomax en un ejercicio de sentadilla en el 65±7,6% de 1RM<sup>14</sup>. Por tanto, la carga empleada en este estudio cumple con los criterios de intensidad planificados para el desarrollo de la hipertrofia<sup>15</sup>. Sin embargo, la ejecución de los ejercicios a máxima velocidad, favorece que la orientación del método empleado en este trabajo se enfoque simultáneamente tanto a la mejora de factores neuronales como a los estructurales del músculo<sup>16</sup>. Nos sumamos a las opiniones vertidas por otros investigadores<sup>13,16,17</sup> cuando consideramos que el entrenamiento con la carga a la que se alcanza la máxima potencia es el estímulo más adecuado para mejorar la relación fuerza-velocidad. Esta zona de entrenamiento óptimo es denominada por otros autores como umbral de rendimiento muscular (URM)<sup>14</sup>. Nuestros resultados muestran cómo el URM se desplaza hacia arriba en la C f-v cuando el ejercicio se ejecuta en altura moderada. Conocida la limitación de este resultado por el tamaño de muestra analizada, esta tendencia arroja claros indicios de significación en su parte alta, en 80 y 110 Kg.



**FIGURA 3.** Efecto de la altura sobre el comportamiento de la potencia pico durante la sesión de fuerza. Normoxia (símbolos cerrados); Hipoxia (símbolos abiertos) \* Efecto de la altura p<0.05



**FIGURA 4.** Efecto de la altura sobre el comportamiento de la velocidad durante la sesión de fuerza. Normoxia (símbolos cerrados); Hipoxia (símbolos abiertos) \* Efecto de la altura p<0.05

		10x10	C f-v
Normoxia	P (W)	762,84±175,63	823,85±118,38
	Vel (m·sg⁻¹)	0,66±0,14	0,77±0,11
Hipoxia	P (W)	828,15±154,67	885,43±112,30
	Vel (m·sg⁻¹)	0,69±0,80	0,80±0,85*

\*Diferencia entre 10x10 y Cf-v p<0.05

**TABLA 2.** Análisis comparativo entre las velocidades (Vel) y potencias (P) desarrolladas durante el 10x10 y la curva fuerza-velocidad (C f-v) en la carga desplazada durante la sesión de fuerza en normoxia (N) e Hipoxia súbita moderada (H)

	RPEL	RPEC	RPET
Normoxia	12,94 ± 1,25	12,56±1,41	12,80±1,46
Hipoxia	11,34 ± 1,14*	11,78±0,96	11,92±0,70

\* Efecto de la altura p<0.05

**TABLA 3.** Análisis comparativo de la percepción de esfuerzo local (RPEL), central (RPEC) y total (RPET) medios registrados durante la sesión de fuerza en condiciones de Normoxia e Hipoxia súbita moderada

Si bien, este parámetro no ha sido analizado en otros estudios relacionados con el tema, razón por la que carecemos de referente para poder comprobarlo.

La literatura no es muy específica en cuanto al diseño de la metodología que permite una mejora en el reclutamiento de unidades motrices. Behm y Sale (1993)<sup>18</sup> recomiendan el trabajo con cargas altas (>80% de 1RM), así como su desplazamiento a máxima velocidad para mejorar el reclutamiento de unidades motrices (UM) de mayor tamaño y desarrollar la potencia muscular. Otros investigadores, por el contrario, piensan que es mejor entrenar con cargas ligeras (30-40% de 1RM), lo que permite un mayor acercamiento de la velocidad gestual a la específica de competición<sup>19-21</sup>. Nuestros resultados muestran como durante la C f-v, la Pomax incrementó entre un 11 y un 12% tras el ascenso a la altura. Algunos de los escasos trabajos realizados sobre el comportamiento de la capacidad de fuerza en altitud, muestran una alteración en la capacidad de reclutamiento neuromuscular en alturas severas<sup>10,22</sup>, factor que podría alterar la potencia desarrollada. Sin embargo la potencia no ha sido analizada en ninguno de los estudios revisados<sup>3,8,10,22</sup>, siendo el objetivo de estas investigaciones otros aspectos más relacionados con el análisis de las propiedades contráctiles del músculo en acciones dinámicas isoinerciales.

Aunque los patrones neuromusculares no han sido analizados en este estudio, podemos intuir que la reducción de la densidad del aire con el ascenso podría mejorar la coordinación de la musculatura implicada al reducir la resistencia externa<sup>4-6</sup>. Cappelli y Prampero (1995)<sup>23</sup> calculan una reducción de la resistencia aerodinámica con el ascenso de aproximadamente un 20% a 2000m de altitud. Durante el ejercicio, esta situación podría definirse como "facilitada" para la ejecución del esfuerzo. Podemos observar que este beneficio no se manifiesta en la parte baja de la C f-v, ya que una carga liviana difícilmente pueda tener un efecto singular en el reclutamiento de UM de gran tamaño<sup>24</sup>. La fatiga se propone como otro factor importante a considerar. Hemos fallado al tratar de corroborar el efecto beneficioso de la altura sobre la velocidad y la potencia medias desarrolladas durante la sesión de fuerza (Figuras 3 y 4). Sin embargo, el promedio obteni-

do de las 10 series muestra un incremento de la producción media de potencia y de velocidad (8,66% y 4,54% respectivamente). Todo ello a pesar de desplazar en H un nivel de sobrecarga un 6% inferior al vinculado a la Pomax alcanzada en dicha condición. El 10x10 de H se ejecutó con la misma sobrecarga que en N. Consideramos que la fatiga física provocada por la duración de la serie durante el 10x10 podría justificar la ausencia de un efecto de la altura en la velocidad de desplazamiento de la sobrecarga. La hipoxia desencadenada con el ascenso limita el empleo de una ruta aeróbica<sup>25</sup>, por lo que probablemente el cambio en el patrón de reclutamiento descrito en otros trabajos<sup>10</sup> se acompañe de una activación más selectiva de fibras rápidas que, aunque puedan generar más potencia y desarrollar velocidades mayores, también se fatigan antes. En esta línea, sólo hemos observado diferencias significativas entre las velocidades asociadas a la carga desplazada en el 10x10 durante el propio 10x10 y la C f-v en H ( $p < 0.05$ ) (Tabla 2). Por esta razón, y al igual que se planifica en los métodos que desarrollan la fuerza en función a la mejora de factores neuronales<sup>16</sup>, podría ser necesario acortar el volumen de las series durante la permanencia en altitud para obtener la mejora funcional en la producción de fuerza que el trabajo a máxima velocidad permite en hipoxia súbita moderada.

Sin embargo, una fatiga localizada superior en H debería de acompañarse de una percepción de esfuerzo superior también en H. Nuestros resultados, por el contrario, muestran una RPEL significativamente inferior durante las series ejecutadas en H con respecto a las de N. Es probable que el tipo de fatiga desencadenada en H tenga un componente fundamentalmente de tipo neuronal. Este componente, junto a la mayor fatigabilidad de las fibras por la hipoxia, podría impedir la adecuada alternancia en la activación de UM que aseguraran el desarrollo de potencias y velocidades superiores en altitud durante series de trabajo de elevada duración. Aunque los trabajos revisados no analizan el origen de la fatiga desarrollada durante el trabajo de musculación en H, la reducción en el

tiempo de mantenimiento una contracción isométrica obtenida en algunos de ellos estaría en consonancia con los resultados obtenidos en este estudio<sup>10</sup>.

El uso de la RPE en el entrenamiento de la fuerza cada vez está más extendido<sup>26-28</sup>. La RPE constituye una buena alternativa que permite controlar la fatiga, en su vinculación con la carga de trabajo, sin necesidad de utilizar técnicas complejas. Tal y como se ha observado en otros estudios, hemos comprobado cómo la RPE es mejor indicador de la intensidad de trabajo que otros parámetros fisiológicos, como la frecuencia cardíaca, los volúmenes ventilatorios o el consumo de oxígeno<sup>11,29,30</sup>. Los resultados obtenidos en el comportamiento de la RPEL en este estudio ratifican este comportamiento, poniendo además de manifiesto la situación facilitada experimentada y percibida por el deportista cuando desplaza la misma sobrecarga tras el ascenso en altura. En tales condiciones, consideramos que es necesario un incremento de la carga desplazada para equiparar el trabajo en ambas cotas con vistas a la mejora de la hipertrofia. En desacuerdo de las conclusiones obtenidas en otros trabajos en los que se indica que es indiferente el empleo de un modelo abreviado o diferenciado de la RPE<sup>11,29,30</sup>, los resultados obtenidos en este estudio indican la idoneidad del modelo diferenciado.

Por tanto, sobre la base de los resultados obtenidos y, siendo conscientes de las limitaciones ocasionadas por el tamaño de la muestra empleada, podemos concluir que la exposición a una altura moderada parece mejorar la potencia máxima y la carga a la que se localiza con respecto a la generada a nivel del mar. Tanto la hipoxia, como los cambios en la densidad del aire generados con el ascenso, podrían favorecer el reclutamiento selectivo de fibras de perfil morfo-funcional anaeróbico en acciones musculares de corta duración, justificando éste resultado. La fatiga generada por la acumulación de repeticiones en la sesión podría enmascarar el efecto "facilitador" de la altura en la aplicación de fuerza a gran velocidad, pudiendo ser necesario en tales casos, acortar el volumen de las series.

Estudios posteriores permitirán profundizar más sobre las hipótesis arrojadas en las conclusiones de este estudio.

## AGRADECIMIENTOS

A la Dirección del CARD de Sierra Nevada y a los miembros de su Centro Médico. A los estudiantes de la FCC.A.F.D de la Universidad de Granada que participaron en el estudio. Este estudio fue financiado por el Grupo de Investigación de "Análisis y Control del Rendimiento Deportivo" SEJ438.

## B I B L I O G R A F I A

1. Wilber RL. Altitude training and athletic performance, Champaign, United States, Human Kinetics 2004;3-6,46.
2. Zwarts MJ, Arendt-Nielsen. The influence of force and circulation on average muscle fibre conduction velocity during local muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol* 1988;58: 278-83.
3. Friedmann B, Kinscherf R, Borisch, S, Ritcher G, Bärts P, Billeter R. Effects of low resistance/high-repetition strength training in hypoxia on muscle structure and gene expression. *Eur J Appl Physiol* 2003;446:742-51.
4. Hahn AG, Gore CG. The effect of altitude on cycling performance. *Sports Med* 2001;31:533-57.
5. Arsac LM. Effects of altitude on energetics of human best performances in 100 m running: a theoretical analysis. *Eur J Appl Physiol* 2002;87:78-84.
6. Bassett DR, Kyle CR, Passfield L, Broker JP, Burke ER. Comparing cycling world records, 1967-1996: modeling with empirical data. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1665-76.
7. Hoppeler H, Kleinert E, Schlegel C, Claassen H, Howald H, Cerretelli P. Muscular exercise at high altitude. II.

- Morphological adaptation of skeletal muscle to chronic hypoxia. *Int J Sports Med* 1990;11:S3-S9.
8. **Narici M, Kaiser B.** Hypertrophy response of human skeletal muscle to strength training an hypoxia and normoxia. *Eur J Appl Physiol* 1995;70:213-9.
  9. **Carvajal CJ, Mariscal M, Guerra E, Olivares A, Olea F.** Evaluación del soporte nutricional utilizado en la escalada Jannu, 7710 ms. Proceedings del II Congreso Mundial en CC de la Actividad Física y el Deporte: Granada: *Deporte y calidad de vida* 2003;12-15 de noviembre.
  10. **Felici F, Rosponi A, Sbriccoli P, Scarcia M, Bazzucchi I, Iannattone M.** Effect of human exposure to altitude on muscle endurance during isometric contractions. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:507-12.
  11. **Ferliche B, Vaquero AF, Ruiz MP, Lucía A, Chicharro JL.** Use of a fixed value of RPE during ramp protocol: comparison with the ventilation threshold. *J Sports Med* 1998;38:35-9.
  12. **Chirosa IJ.** Efecto de dos metodologías de aplicación de una carga submáxima en el entrenamiento de fuerza. El entrenamiento en circuito frente a un régimen de trabajo localizado. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 2003.
  13. **Tan B.** Manipulating Resistance Training Program. Variables to Optimize Maximum Strength in Men: Review. *J Strength and Cond Res* 1999;13:289-304.
  14. **González JJ, Ribas J.** Bases de la programación del entrenamiento de Fuerza. Barcelona, *Inde* 2002;221-2.
  15. **Schoenfeld B.** Repetitions and Muscle Hypertrophy. *Strength Cond J* 2000;22:67-9.
  16. **Baker D.** Acute Effect of Alternating Heavy and Light Resistance on Power Output During Upper-Body Complex Power Training. *J Strength and Cond Res* 2003;17:492-7.
  17. **Moss BM, Refsnes PE, Abildgaard A, Nicolaysen K.** The effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationship. *Eur J Appl Physiol* 1997;75:193-9.
  18. **Behm DG, Sale SG.** Velocity specificity of resistance training. *Sports Med* 1993;15:374-88.
  19. **Sale DG.** Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc Sport Sci Rev* 1982;15:95-151.
  20. **Schmidtbleicher D, Haralambie G.** Changes in contractile activity properties of muscle after strength training in man. *Eur J Appl Physiol* 1981;46:221-8.
  21. **Shealy MJ, Callister R, Dudley GA, Fleck SJ.** Human torque velocity adaptations to sprint, endurance, or combined modes of training. *Am J Sports Med* 1992;20:581-6.
  22. **Orizio C, Esposito F, Veicsteinas F.** Effect of acclimatization to high altitude (5,050 m) on motor unit activation pattern and muscle performance. *J Appl Physiol* 1994;77:2840-4.
  23. **Capelli C, Di PE.** Effects of altitude on top speeds during 1h unaccompanied cycling. *Eur J Appl Physiol* 1995;71:469-71.
  24. **McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU.** The effect of heavy- vs. lightload jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res* 2002;16:75-82.
  25. **Calbet JA, De Paz JA, Garatachea N, Cabeza de Vaca S, Chavarren J.** Anaerobic energy provision does not limit Wingate exercise performance in endurance-trained cyclists. *J Appl Physiol* 2003;94:668-76.
  26. **Foster C, Florhau JC, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, Doleshal P, Dodge C.** Anew approach to monitoring exercise training. *J Strength Cond Res* 2001;15:109-15.
  27. **Kraemer W, Noble B, Clark M, Culver B.** Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int J Sports Med* 1987;8:247-52.
  28. **Sumisnky R, Robertson RJ, Arslanian S, Kang J, Utter AC, DaSilva SG, Goss FL, Metz KF.** Perception of Effort During Resistance Exercise. *J Strength and Cond Res* 1997;11: 261-5.
  29. **Ferliche B, Delgado M, Álvarez J.** Efecto de la ingestión de un alcalinizante sobre la percepción subjetiva de esfuerzo durante un test incremental. *Arch Med Dep* 1999;16:335-42.
  30. **Ferliche B, Chirosa LJ, Chirosa IJ.** Validez del uso de la RPE en el control de la intensidad de entrenamiento en balonmano. *Arch Med Dep* 2002;19:377-83.